

BOLETIM

PUBLICAÇÃO SEMESTRAL | 60 | JUNHO '19

APDIO

IO EM AÇÃO

MINIMIZAÇÃO DO IMPACTO
DE ATAQUES DE SEGURANÇA
EM REDES DE
TELECOMUNICAÇÕES

ENTREVISTA
RAJAN BATTÀ

ARTIGO DE OPINIÃO

CONCEÇÃO DE PLANOS
DE EVACUAÇÃO PARA
CIDADES

TÉCNICAS DE IO
METODOLOGIAS SOFT



ÍNDICE

03 ENTREVISTA

Rajan Batta

05 ARTIGO DE OPINIÃO CONCEÇÃO DE PLANOS DE EVACUAÇÃO PARA CIDADES

João Coutinho-Rodrigues

Nuno Sousa

Eduardo Natividade-Jesus

Luís Alçada-Almeida

09 TÉCNICAS DE IO METODOLOGIAS SOFT

José Soeiro Ferreira

13 IO EM AÇÃO MINIMIZAÇÃO DO IMPACTO DE ATAQUES DE SEGURANÇA EM REDES DE TELECOMUNICAÇÕES

Amaro de Sousa

16 LUGAR AOS NOVOS SECUREPORT: UM SISTEMA DE APOIO À DECISÃO PARA SEGURANÇA PORTUÁRIA

João José Maia Martins

António J.I. Rodrigues

19 O SÓCIO N.º...

...1172

Dorabela Gamboa

20 NOTÍCIAS DA APDIO



ELIANA COSTA E SILVA

Centro de Inovação e Investigação
em Ciências Empresariais
e Sistemas de Informação
Escola Superior de Tecnologia e Gestão,
Politécnico do Porto



RUI BORGES LOPES

Departamento de Economia,
Gestão, Engenharia Industrial e Turismo.
Universidade de Aveiro

EDITORIAL

Recentemente, a **segurança** de pessoas e bens tem sido um tema que tem ganho particular destaque. Esta concerne vários aspetos do nosso dia-a-dia, como por exemplo ao nível da alimentação, ciberespaço, habitação, redes de distribuição, saúde, etc.. Como reflexo da importância desta temática, olhando para os quadros de financiamento europeus, é fácil verificar que muitos dos desafios societais abordam questões relacionadas com a segurança (alimentar, de energia, ou mesmo ao nível das ameaças à liberdade e segurança dos cidadãos – sociedades seguras). Sendo uma área abrangente e rica em aplicações em IO, neste Boletim vai ser dado particular enfoque a aplicações nalgumas áreas específicas, nomeadamente, na evacuação de pessoas em situações de catástrofes, ao nível de redes de telecomunicações e na segurança portuária.

Este boletim começa com uma Entrevista a Rajan Batta, uma das personalidades mais influentes na IO e que tem feito diversas contribuições relacionadas com a temática deste boletim. No Artigo de Opinião, João Coutinho-Rodrigues, Nuno Sousa, Eduardo Natividade-Jesus e Luís Alçada-Almeida abordam os desafios que as cidades dos dias hoje enfrentam, aquando de um evento catastrófico, apresentando de seguida uma metodologia para planeamento de ações de evacuação em meios urbanos.

Nas Técnicas de IO, José Soeiro Ferreira introduz metodologias *soft*, destacando e caracterizando as mais conhecidas. Nesta rubrica é realçado o tipo de problemas para

os quais estas metodologias serão mais aplicáveis, situações problemáticas (não estruturadas), sendo um perfil em que muitos dos problemas na área da segurança se enquadram.

Amaro de Sousa, em IO em Ação, dá-nos uma visão da investigação que tem sido feita ao nível da minimização do impacto de ataques em redes de telecomunicações, focando-se em dois problemas ainda em aberto. No Lugar aos Novos, é apresentado por João Martins e António Rodrigues, um sistema de apoio à decisão para segurança portuária, SecurePort. Este sistema usa técnicas de otimização e simulação para prestar apoio à decisão militar no planeamento de missões de proteção portuária contra possíveis ameaças terroristas.

Sendo este boletim dos sócios e para os sócios da APDIO, importa continuar a ouvir as suas experiências. O sócio nº 1172, Dorabela Gamboa, partilha connosco o seu percurso e de que forma entrou em contacto com a IO, que considera ser uma das suas paixões, e que definiu um novo rumo na sua vida.

Na última página surge como habitual o espaço para as notícias, onde é possível tomar conhecimento das atividades relevantes do primeiro semestre de 2019 e dos eventos que se irão realizar num futuro próximo.

ENTREVISTA

You have characterized your research philosophy as “problem motivated” and have an impressive number of projects and papers in a large and diverse number of real-word applications, for which you have contributed with the development of novel and innovative mathematical models and Operations Research (OR) techniques. What do you believe are the necessary skills and competences of future OR researchers and practitioners? Moreover, which application areas do you elect as the most relevant and promising for a near future?

To be a successful OR researcher who wishes to make impact in the practice of OR, it is important to spend time in the field and to ensure that the problem is real. It is also important to focus on not just solving the problem but also going through all of the hoops to get the result implemented. My most recent experience with this was a school bus routing project that we did for a local school district. We discovered that the main problem that they had was planning of overbooking of their buses as many of the students do not use the bus that is assigned to them, yet the school district is obligated to send buses assuming that students will use the bus. It turned out that even though school bus routing had been studied extensively, this aspect was not studied in the OR literature, which led to some interesting research. Also, implementing the results was a challenge and required us to make presentations to a variety of audiences to create buy-in for our methods and results. In terms of future application areas, I would say that these need to be discovered by trying to solve real problems, and many exist.

Nowadays, security and well-being of populations are highly sensitive topics in western countries, having become a recurrent and possibly influential topic in recent elections. In your opinion which are the critical areas in terms of safety of populations and goods that deserve a closer attention of the scientific community, specifically of the OR community?

Security and safety have many applications

for OR. The aspect that is most interesting is safe transportation of dangerous goods, and in particular the use of a dangerous good as a weapon of mass destruction. Many of the events that have happened in the past 20 years fall into this category. For example, the 9/11 attacks in the US can be viewed as the diversion of dangerous goods (planes full of fuel) to be used as a weapon. The same applies for car bombings as well as truck hijacking to kill pedestrians. Where OR can be used is in placement of sensors and processing of data that helps trigger alarms for security to respond.

The OR community has been making significant contributions to security-related challenges. Which classical OR techniques do you consider more suitable to tackle current security-related problems? To which extent do you believe that classical techniques are enough to handle these challenging problems and how can these techniques be complemented to further improve solutions?

I believe that models should always be developed to tackle the specific security application. Many of these models are a combination of stochastic modeling and mathematical programming, and require either a team effort from experts in these two sub-fields of OR or requires a researcher to have excellent working knowledge in both of these areas of OR. The main difficulty I see is that most OR researchers are trained in a specific area of OR (i.e. they are comfortable with deterministic models or stochastic models, but not both), so they often tackle the problem using only the tools that they are comfortable with. This leads to sub-optimal solutions.

From your experience, do you consider that decision-makers (either from USA or other countries) are aware of the potential of OR techniques in security-related challenges?

I believe that decision makers are aware of OR techniques in security-related challenges. This is particularly true of military personnel, where OR methods have been widely used and implemented.



RAJAN BATTÀ

Associate Dean
School of Engineering and Applied Sciences
SUNY Distinguished Professor,
Department of Industrial and Systems
Engineering
University at Buffalo,
The State University of New York
batta@buffalo.edu

“MANY OF THESE MODELS (SECURITY) ARE A COMBINATION OF STOCHASTIC MODELING AND MATHEMATICAL PROGRAMMING, AND REQUIRE EITHER A TEAM EFFORT FROM EXPERTS IN THESE TWO SUB-FIELDS OF OR OR REQUIRES A RESEARCHER TO HAVE EXCELLENT WORKING KNOWLEDGE IN BOTH OF THESE AREAS OF OR”



In your review paper of 2013, entitled “Review of recent developments in OR/MS research in disaster operations management”, you conclude that there has not been a drastic change in the field of OR/MS concerning disaster operations management when compared to a previous review from 2006. Do you feel that this still holds true nowadays?

I think that the field of OR/MS in disaster operations management has dramatically grown in focus and scope over recent years. However, the use of OR methods to help with actual humanitarian disaster events is not happening. I believe that what is needed is for OR researchers to do field work when a natural disaster strikes and solve the logistic problems that arise. An easier example to work on would be debris collection after the disaster, since this does not require the models to be responsive in a short time frame.

With the foreseeable increase of extreme climatic events, populations are increasingly looking to the scientific community and to



authorities for the best responses in terms of emergency preparedness and response. Do you consider that the OR community has played its part in this issue, or can it play a more influential role?

Absolutely. OR can play an influential role, but for this to happen we must have OR researchers out in the field when emergency preparedness

and response is needed. Developing models in a university environment is not helpful beyond a point. Every disaster brings its new set of issues, and it seems like we have been developing models that help tackle disaster situations that have happened in the past, but these are rarely useful for disaster situations that may happen in the future.

CONCEÇÃO DE PLANOS DE EVACUAÇÃO PARA CIDADES

Nas últimas décadas registou-se um aumento da frequência de eventos catastróficos, bem como da intensidade das respetivas consequências. Para tal contribuem quer causas naturais relacionadas com alterações climáticas, como ciclones ou cheias, quer acidentes de origem humana, tais como os associados à produção industrial, e ainda os oriundos de atos de terrorismo.

O crescimento populacional global, aliado ao crescimento da concentração de populações nas cidades, levaram a que estas alberguem hoje em dia mais de 50% da população mundial (80% nos países mais desenvolvidos), criando assim um enorme potencial para perdas humanas sempre que estas catástrofes se abatam sobre os meios urbanos. Para este potencial contribui ainda o facto de as densidades de ocupação do solo e populacional numa cidade moderna serem tipicamente elevadas, o que também dificulta eventuais ações preventivas ou de resposta, pelas limitações à mobilidade em situações de emergência.

Pela dimensão das consequências nefastas que uma catástrofe normalmente traz, torna-se necessário, imperioso até, planejar eventuais ações de resposta, de forma a mitigarem-se, tanto quanto possível, tais consequências. É precisamente ao nível de tal planeamento que a investigação operacional pode desempenhar um papel relevante ao fornecer ferramentas metodológicas permitindo aplicações práticas ao apoio à decisão neste domínio. De facto, é possível, através do uso de algoritmos especializados para redes e de adequadas formulações matemáticas de programação linear, modelar a conceção global de ações de resposta. A geração de soluções de planeamento alternativas possibilita a simulação e comparação de cenários. Tal é essencial para o adequado planeamento das intervenções em situações de emergência, como instrumento de ajuda ao desenho de planos de evacuação otimizados, tanto ao nível de zonas urbanas particulares (por exemplo zonas de alta densidade de ocupação do solo, centros históricos de cidades antigas, etc.) como municipal.

Quer na perspetiva da prevenção, quer como reação à catástrofe, as intervenções envolvendo a evacuação de pessoas são prova-

velmente as ações mais frequentes em situações de emergência. Numa evacuação, tipicamente, as populações são transferidas dos seus locais (que podem ser agregados em unidades geográficas designadas por sectores) à data da ordem de evacuação para locais mais seguros (abrigos). A importância e necessidade do planeamento prévio deste tipo de ações é reconhecida pelas autoridades governamentais, como o comprovam a exigência da elaboração de planos municipais de emergência (Lei nº 27/2006 [4], Lei nº 65/2007 [5] e Resolução da Comissão Nacional de Proteção Civil nº 25/2008 [6]). Tal exigência torna ainda mais vincado e premente o papel, útil, que a investigação operacional pode desempenhar neste planeamento.

O presente texto resume uma proposta de metodologia para planeamento de ações de evacuação em meio urbano [2], abrangendo a definição das unidades geográficas (sectores) a evacuar e recolha de dados necessária à sua correta caracterização, e endereçando o problema da localização de abrigos temporários e escolha de trajetos (principais

“O CRESCIMENTO POPULACIONAL GLOBAL, ALIADO AO CRESCIMENTO DA CONCENTRAÇÃO DE POPULAÇÕES NAS CIDADES, (...) CRIAM UM ENORME POTENCIAL PARA PERDAS HUMANAS SEMPRE QUE ESTAS CATÁSTROFES SE ABATAM SOBRE OS MEIOS URBANOS”



JOÃO COUTINHO-RODRIGUES

Departamento de Engenharia Civil,
Faculdade de Ciências e Tecnologia,
Universidade de Coimbra
INESC Coimbra
coutinho@dec.uc.pt



NUNO SOUSA

Universidade Aberta
INESC Coimbra
nsousa@uab.pt



EDUARDO NATIVIDADE-JESUS

Instituto Superior de Engenharia
de Coimbra
INESC Coimbra
ednativi@isec.pt



LUÍS ALÇADA-ALMEIDA

Faculdade de Economia,
Universidade de Coimbra
INESC Coimbra
alcada@fe.uc.pt

“A INVESTIGAÇÃO OPERACIONAL PODE DESEMPENHAR UM PAPEL RELEVANTE AO FORNECER FERRAMENTAS METODOLÓGICAS PERMITINDO APLICAÇÕES PRÁTICAS AO APOIO À DECISÃO (NO PLANEAMENTO DE AÇÕES DE RESPOSTA A CATÁSTROFES)”

e alternativos) desde os edifícios até aos abrigos, tomando em consideração, em simultâneo, diversos objetivos relevantes à operacionalização das ações (metodologia multiobjectivo).

Esta metodologia assume que a transferência de pessoas entre edifícios e abrigos ocorre pelo modo pedonal, situação frequente em cidades densamente urbanizadas ou centros históricos de cidades antigas, onde a utilização de veículos motorizados se torna ineficaz ou mesmo impossível devido seja à configuração de redes de ruas antigas, seja ao corte ou inutilização de vias e congestão de tráfego.

A metodologia é composta por quatro fases principais (Fig. 1): recolha de dados sobre a área urbana a evacuar e definição de sectores (grupos de edifícios); determinação de planos de evacuação individuais; geração de planos de evacuação global otimizados; escolha de uma solução e sua operacionalização.

1. Na primeira fase, que envolve a recolha de dados, além da delimitação da área a evacuar há também que definir como a dividir geo-

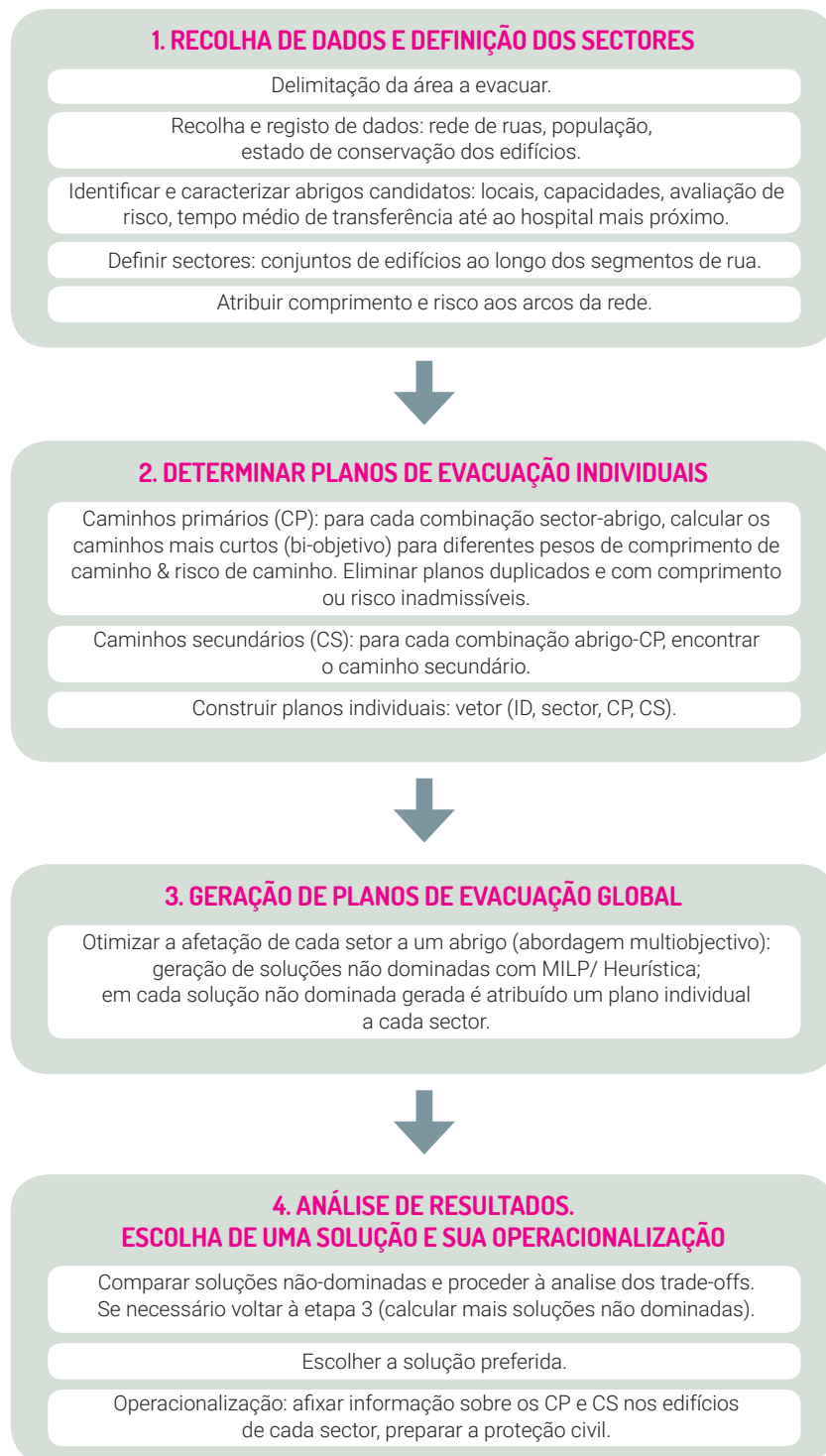


Fig. 1 - Esquema da metodologia proposta

graficamente em sectores (compostos por pequenos grupos de edifícios). Esta divisão é crucial, quer do ponto de vista da operacionalização da intervenção, quer para reduzir a complexidade computacional (natureza combinatória) do problema de evacuação. Cada sector consistirá num determinado conjunto de edifícios podendo corresponder a um comprimento de fachadas entre 25 e 100 m. Nesta fase é também necessário obter informação sobre o estado de conservação dos edifícios e, em função deste, definir o risco associado a cada arco da rede viária (rua) onde existem saídas dos edifícios e que fará parte do percurso pedonal. Por último, há que identificar locais candidatos à colocação de abrigos, normalmente praças, e afetar a cada um as respetivas capacidades (mínimas e máximas) para albergar pessoas, risco de permanência (baseado no estado de conservação dos edifícios circundantes) e tempo médio de transferência de eventuais feridos desde esse abrigo até ao hospital mais próximo (acessibilidade a partir do exterior). Nem todos os locais candidatos a abrigos virão necessariamente a ser selecionados para ficarem operacionais, sendo a seleção dos que serão abertos também uma das tarefas da metodologia.

2. Na segunda fase há que obter planos individuais para os sectores, ou seja, caminhos pedonais otimizados desde cada sector até aos abrigos, designados por caminhos primários (CP). Na otimização deste problema o objetivo consiste em minimizar uma combinação convexa do risco e comprimento do percurso pedonal, atribuindo sucessivamente a cada um desses dois critérios pesos com valores entre 0 e 100% (com incrementos, por exemplo, em intervalos de 10%) de modo a ser gerado, com uma metodologia bi-objetivo, um conjunto significativo de percursos alternativos (desde o que minimiza o comprimento ao que minimiza o risco, e caminhos de compromisso oriundos da consideração de somas pesadas dos dois objetivos) – Fig. 2. Na resolução deste problema podem ser utilizados algoritmos muito eficientes dedicados à otimização em redes (e.g. [1]). Do conjunto de CP obtidos, eliminam-se os CP duplicados e os que tenham comprimento ou risco acumulado

com valores demasiado elevados (valores limite, ou de corte, definidos pelo agente de decisão e por considerações de segurança). Assim, abrigos demasiado afastados de um dado sector podem ficar inacessíveis a esse sector. Uma vez que é recomendável, se não obrigatório, a definição de um “plano B”, para o caso de o caminho primário previsto para o abrigo ficar bloqueado pelo evento que requer a evacuação, há necessidade de, para cada combinação CP-Abrigo, gerar um segundo trajeto, designado por caminho secundário (CS), utilizando a mesma metodologia, mas com fortes penalizações nos arcos da rede viária que pertençam ao CP ou à sua vizinhança (isto induz o algoritmo a afastar-se do bloqueio no CP). O CP deve, em cada par sector-abrigo, partilhar o mínimo número possível de arcos com o caminho principal (idealmente, esses caminhos não se cruzarem). Deste modo, cada plano individual (ID) contará no final com dois caminhos, um primário (CP) e um secundário (CS), desde o sector em causa até aos abrigos, expresso pelo vetor (ID, sector, CP, CS). Para cada sector k obter-se-á um conjunto de N_k planos.

3. Na terceira fase otimiza-se a afetação de cada setor a um dado abrigo, atendendo às capacidades pré-estabelecidas para estes. Esta afetação é expressa, p. ex., por um vetor $(x_1, x_2, \dots, x_{Ns})$, $x_k = \text{ID do plano escolhido para o setor } k$, $Ns = n.º \text{ de sectores}$.

Na configuração do problema de otimização multiobjectivo pode atender-se a 6 objetivos, todos a minimizar [2]:

- O1: minimizar o comprimento total dos CP a percorrer pelos habitantes a evacuar;
- O2: minimizar o risco total a que se sujeitam os habitantes ao percorrer o CP;
- O3: minimizar o comprimento total dos CS a percorrer pelos habitantes a evacuar;
- O4: minimizar o risco de permanência nos abrigos, ponderada pelo $n.º$ de habitantes a eles afetos;
- O5: minimizar o tempo de evacuação desde os abrigos até ao hospital mais próximo;
- O6: minimizar o $n.º$ de abrigos a abrir.

O problema de otimização para esta terceira fase pode ser abordado com base em modelo de programação linear multiobjectivo e as soluções geradas por um solver MILP (e.g., CPLEX) recorrendo a técnicas adequa-

“É POSSÍVEL, ATRAVÉS DO USO DE ALGORITMOS ESPECIALIZADOS PARA REDES E DE ADEQUADAS FORMULAÇÕES MATEMÁTICAS DE PROGRAMAÇÃO LINEAR, MODELAR A CONCEÇÃO GLOBAL DE AÇÕES DE RESPOSTA. A GERAÇÃO DE SOLUÇÕES DE PLANEAMENTO ALTERNATIVAS POSSIBILITA A SIMULAÇÃO E COMPARAÇÃO DE CENÁRIOS”



Fig. 2 - Mapa com a representação de um edifício e alguns percursos alternativos gerados, ligando-o a um abrigo

das [2][3]: soma pesada (que só encontrará soluções eficientes na envolvente convexa da frente de Pareto), modelo de restrição, ou mesmo programação por metas com uma escolha conveniente destas (por exemplo, a definição de uma solução de referência como uma “solução ideal” construída com base na diagonal principal de uma matriz de pay-off). A geração de soluções pode também ser conseguida através de metaheurís-

tica (e.g. algoritmo genético). Note-se que cada cromossoma pode ser decodificado em valores para O1-O6, valores esses que serão usados para guiar a procura da solução ótima; as metaheurísticas requerem um cromossoma algo elaborado, nomeadamente com informação suplementar sobre os abrigos a abrir, caso contrário serão ineficientes do ponto de vista computacional.

O elevado número de objetivos origina, na prática, frentes de Pareto muito povoadas, podendo tornar difícil a análise pelo agente de decisão que pode selecionar uma zona particular dessa frente para intensificar a pesquisa e comparar soluções (usando, por exemplo, algumas representações gráficas adequadas a um espaço multidimensional).

4. A última fase, da metodologia proposta, é a escolha de uma solução e a sua operacionalização. O agente de decisão terá que comparar soluções não-dominadas e proceder à análise dos *trade-offs*. Após a escolha de uma solução, resta preparar, com base nela, o plano de evacuação. Por fim, a operacionalização do plano no terreno contempla a afixação em todos os edifícios de cada setor da informação sobre o abrigo para onde as pessoas se devem dirigir em caso de ordem de evacuação e do respetivo trajeto (CP), bem assim, como do abrigo e caminho alternativos (CS) – Fig. 2. Haverá também que preparar de antemão os abrigos para receber os habitantes.

Pretendeu-se com este texto, destacar a importância e contributo que a investigação operacional pode dar para o eficaz planeamento e operacionalização da resposta em situação de catástrofe, principalmente na fase de estudo prévio, possibilitando a obtenção de soluções otimizadas que permitam mitigar o impacto destes eventos. A

implementação eficiente dos resultados da metodologia proposta será certamente determinante para uma mais eficaz resposta em situação de emergência, contribuindo necessariamente para uma melhor proteção da população afetada, mitigando o risco e contribuindo para a diminuição do número de vítimas.

“O OBJETIVO CONSISTE EM MINIMIZAR UMA COMBINAÇÃO CONVEXA DO RISCO E COMPRIMENTO DO PERCURSO PEDONAL, ATRIBUINDO SUCESSIVAMENTE A CADA UM DESSES DOIS CRITÉRIOS PESOS COM VALORES ENTRE 0 E 100% (...) DE MODO A SER GERADO, COM UMA METODOLOGIA BI-OBJETIVO, UM CONJUNTO SIGNIFICATIVO DE PERCURSOS ALTERNATIVOS”

REFERÊNCIAS

- [1] Coutinho-Rodrigues J., Climaco J., & Current J. (1999). An interactive bi-objective shortest path approach: searching for non-supported nondominated solutions. *Computers and Operations Research*, 26(8), 789–798.
- [2] Coutinho-Rodrigues J., Sousa N., & Natividade-Jesus E. (2016). Design of evacuation plans for densely urbanised city centres. *Municipal Engineer*, 169(3), 160-172.
- [3] Coutinho-Rodrigues J., Tralhão L., & Alçada-Almeida L. (2012). Solving a location-routing problem with a multiobjective approach: the design of urban evacuation plans. *Journal of Transport Geography*, 22, 206-218.
- [4] Lei nº 27/2006, de 3 de Julho – Lei de Bases da Proteção Civil.
- [5] Lei nº 65/2007, de 12 de Novembro – Enquadramento institucional e operacional da proteção civil no âmbito municipal, organização dos serviços municipais de proteção civil e competências do comandante operacional municipal.
- [6] Resolução da Comissão Nacional de Proteção Civil nº 25/2008, de 18 de Julho – Critérios e normas técnicas para a elaboração e operacionalização de planos de emergência de proteção civil.

METODOLOGIAS SOFT

MOTIVAÇÃO

A Investigação Operacional (IO) é uma ciência fundamentalmente orientada para lidar com situações práticas reais e contribuir para melhores decisões. Acontece que muitas situações, envolvendo atividade humana nas suas variadas dimensões, são cada vez mais problemáticas, complexas, de difícil compreensão e abordagem. Atuar nestes ambientes assentes em mudanças tecnológicas surpreendentes, plenos de incerteza, ambiguidade e volatilidade, exigirá à IO mais criatividade e múltiplas e novas competências, para desenhar estratégias, propor alternativas de decisão e gerir ou otimizar sistemas.

Sabe-se bem que a IO acumulou uma impressionante coleção de métodos e técnicas quantitativos que tem tido grande impacto teórico e sucesso prático. O que não significa que não se pudesse esperar mais da sua postura e que sobre esta não se façam diagnósticos bem críticos. Efetivamente há muitos alertas sobre alguma atrofia da IO atual: demasiado académica, pouco interdisciplinar e alheia à realidade em que deveria mergulhar. São consistentes com as limitações associadas às abordagens puramente quantitativas, a IO sob um paradigma *hard*, o seu fechamento nos métodos matemáticos e computacionais, a ilusão da objetividade, ou a exploração até ao limite, de

modelos pouco confiáveis. São grandes estas limitações em situações problemáticas envolvendo atividade humana e, pior ainda, podem ser enganadoras. Não será difícil verificar que frequentemente quando a IO entra em ação já as principais decisões estão tomadas. A IO assumirá então meramente um papel secundário. As metodologias que se apresentam neste texto surgem, sensíveis a tais críticas e alertas, mas essencialmente empenhadas para trabalhar em contextos de complexidade, como acima referido. Terão que providenciar formas para analisar e estruturar situações-problema, envolver os participantes interessados, tolerar contradições, atender à subjetividade e lidar com a incerteza. Estas metodologias, com grande abrangência e flexibilidade, podem enquadrar-se num paradigma *soft* em IO. Seguidamente faz-se uma apresentação das Metodologias *Soft*, focando três bem conhecidas. Depois descreve-se o que se entende por Multimetodologia. Finalmente perspetiva-se o fortalecimento da IO sob os Paradigmas *Soft* e *Hard*.

METODOLOGIAS *SOFT*

Nesta conjuntura emergiram, nos últimos 40 anos, várias Metodologias *Soft* (MS), também conhecidas por *Soft OR Methods* ou por *Problem Structuring Methods*, que estabeleceram uma marcante evolução da IO. Evocam o propósito crucial de descobrir o contexto da situação e de entender qual é o problema, acautelando para as limitações dos métodos essencialmente matemáticos. A ênfase das MS são: estruturar situações complexas e confusas; lidar com as incertezas e objetivos não consensuais presentes; envolver decisores e profissionais na exploração de visões diferentes. Estaremos perante um paradigma *soft*, a desejabilidade de outros procedimentos de investigação para granjear uma visão integral e potencializar uma intervenção efetiva da IO. Exemplos destas Metodologias são: *Soft Systems Methodology*, *Strategic Choice Approach*, *Strategic Options Development and Analysis*, *Viable Systems Model*, *Scenario Planning*, *The Future Workshop*, *Robustness Analysis*, *Hypergame Analysis*. Como principal referência indica-se [16]. Outras referências genéricas relevantes são [2, 5, 6, 14, 19]. Mais adiante, as três primeiras serão apresentadas sucintamente.



JOSÉ SOEIRO FERREIRA

Departamento de Engenharia
e Gestão Industrial – FEUP
INESC TEC
jsf@fe.up.pt

“ATUAR NESTES AMBIENTES ASSENTES EM MUDANÇAS TECNOLÓGICAS SURPREENDENTES, PLENOS DE INCERTEZA, AMBIGUIDADE E VOLATILIDADE, EXIGIRÁ À IO MAIS CRIATIVIDADE E MÚLTIPLAS E NOVAS COMPETÊNCIAS, PARA DESENHAR ESTRATÉGIAS, PROPOR ALTERNATIVAS DE DECISÃO E GERIR OU OTIMIZAR SISTEMAS”

APLICAÇÕES

Aplicações das MS cobrem temas tão diversos como Organização, Planeamento, Sistemas de Informação, Tecnologia, Ambiente, Gestão de Recursos, Saúde, Política e Segurança. Os seguintes artigos permitirão o contacto com aplicações, [11, 13, 7, 18]. As conhecidas revistas "EJOR" e "JORS" ao dedicarem edições completas a MS, EJOR, Vol. 152-3 (2004) e JORS, Vol. 57-7 (2006) e Vol. 58-5 (2007), são uma boa oportunidade para visitar aplicações diversificadas e avaliações de MS. Como este boletim versa o tema da Segurança também se incluem os dois artigos recentes, [15, 17]. Não havendo espaço para a descrição de qualquer destes casos aplicados, apenas observaremos que não se qualificarão como problemas claramente definidos ou estruturados, antes se constituindo como situações problemáticas (*wicked problems/messes*). Em comum terão várias partes interessadas, organizações e/ou participantes com valores e perspetivas distintos, decisões estratégicas a explanar, multidimensionalidade e incerteza, avaliando-se o sucesso (a solução) em termos do que há a fazer.

TRÊS METODOLOGIAS SOFT

Segue uma breve apresentação de três das Metodologias Soft (MS) mais conhecidas. Ob-

viamente que alguma perícia em MS exigirá mais do que leituras e estudos aprofundados. Passará por uma imprescindível vivência no terreno, preferencialmente acompanhada por profissionais experientes.

Soft Systems Methodology (SSM)

O processo SSM [3, 16] segue um ciclo de compreensão e de ação sobre a situação problemática em análise. O ciclo contempla o fluxo de acontecimentos da realidade e envolve pensamento sistémico. As fases SSM podem ser sintetizadas em (ver Fig. 1):

- Inspeção e Expressão da situação-problema" Elabora-se sobre a visão do mundo de cada participante (o termo alemão *Weltanschauungen* é usado). Recorre-se a Figuras enriquecidas (*Rich Pictures*)
- Nomeação dos sistemas" É apresentada uma Definição Raiz (*Root Definition*), para cada sistema.
- Construção de modelos conceituais" Entre as 2 fases a utilização da mnemónica CATWOE (Cliente, Atores, Transformação, *Weltanschauungen*, Owner, Environment) será vantajosa para a clarificação da situação e para cada Definição Raiz.
- Comparação e Ação sobre a situação." Debate sobre quais as mudanças desejáveis e possíveis para se ir encerrando o ciclo.

"TEM AUMENTADO O INTERESSE NA UTILIZAÇÃO DE MÉTODOS PROVENIENTES DE ÁREAS DISTINTAS NUM MESMO PROJETO OU INICIATIVA. (...) CERTAMENTE QUE A IO NÃO DEVERÁ SER ALHEIA A TAL POTENCIALIDADE – ALIÁS A INTERDISCIPLINARIDADE ESTÁ BEM MARCADA NAS SUAS ORIGENS"

O ciclo SSM pode repetir-se. Frequentemente é percorrido uma primeira vez, ao fim de poucas sessões, para se alcançar uma primeira visão global.

O processo SSM é implementado no chamado Modo 1, em que há apoio formal de um facilitador especializado ou no Modo 2 em que um participante, experiente em SSM, se torna facilitador e utilizador simultaneamente.

Strategic Choice Approach (SCA)

SCA é uma metodologia centrada na gestão da incerteza em processos de decisão estratégica [4, 16].

O grupo de participantes, apoiado por dinamizadores, lidará com áreas de decisão inter-relacionadas, procedendo à comparação de esquemas de decisão, mediante critérios estabelecidos. SCA integra quatro modos num processo circular: *Shaping, Designing, Comparing and Choosing*, (Fig. 2). Em qualquer fase pode ser conveniente visitar outro dos modos, para facilitar o processo exploratório.

- *Shaping mode*: Neste modo procura-se estruturar a situação em jogo. As áreas de decisão e as suas ligações são caracterizadas; a consideração de problemas foco poderá ser apropriada.
- *Designing mode*: São concebidas linhas de ação possíveis, após se analisarem as opções existentes e as suas mútuas incompatibilidades. Os esquemas de decisão viáveis desenhados também permitirão ter

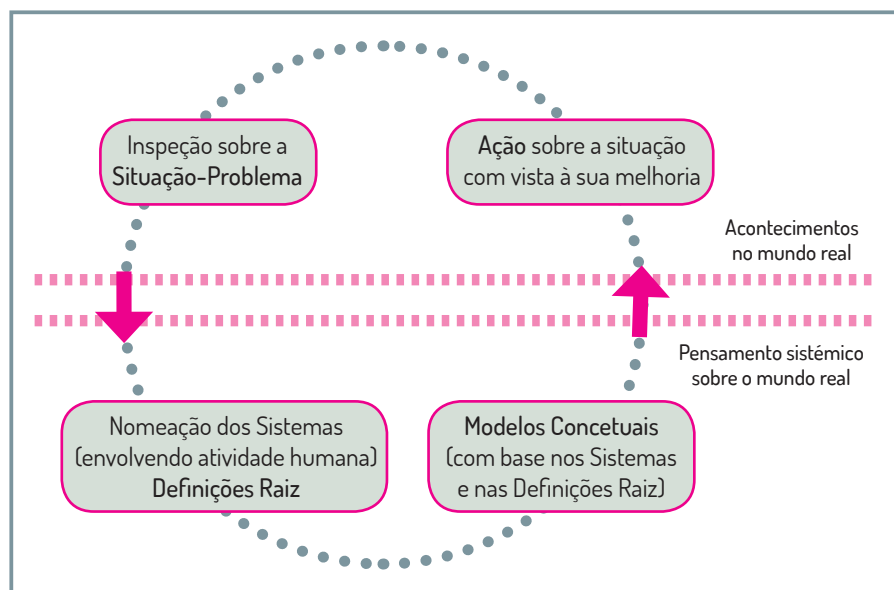


Fig. 1 - O ciclo SSM

sua prática permita ver aspetos que de outro modo não se veriam e acolher a diversidade. O artigo [12] apresenta Multimetodologia em ação.

PARADIGMAS *SOFT* E *HARD*

A complementaridade e a articulação entre MS e os métodos mais quantitativos da IO serão fundamentais. Evidentemente que a relevância relativa de uns e outros variará conforme o “Problema”, conceito que pode surgir em IO sob diferentes interpretações. Atendendo a [8], vamos indicar:

Puzzles, (*tamed problems, textbook problems*) como situações muito bem estruturadas, em que é inequívoco o que deve ser feito e como o fazer. Exemplos são os problemas de rotas, mochila, de afetação. Aqui uma abordagem *hard* impor-se-á.

Problemas como situações em que vai sendo claro o que se deverá fazer, mas não será obvio como proceder. Possivelmente alguma ingenuidade e perícia serão necessárias para uma solução aceitável. Exemplos são problemas operacionais, como intervenções para a melhoria de sistemas já implementados em organizações ou fábricas, por exemplo para melhorar escalas de pessoal, *layouts* ou desenhar novas rotas de distribuição. Métodos matemáticos e computacionais serão importantes, mas outras competências deverão ser

chamadas como a aptidão de trabalho em equipa, a compreensão de negócios, e o balanceamento entre “otimalidade” e utilização real de soluções propostas.

Situações problemáticas (*messes, wicked problems*) como situações não estruturadas, com discordância quanto ao que se deverá fazer e como proceder. Ocorrem em planeamento estratégico, desenvolvimento de projetos de I&D, gestão de catástrofes ou na conceção de sistemas de informação. Uma abordagem *soft* se aplicará e dificilmente métodos *hard* serão preponderantes, para o sucesso da intervenção.

OBSERVAÇÕES FINAIS

Sob um paradigma *soft* inclusivo, faculdades mentais adicionais relativas à intuição e às emoções, seguramente ligadas à evolução humana, constituirão uma mais valia, também para a IO. De facto, novos conhecimentos em Neurociências apoiam a sua preeminência e o seu efeito na compreensão de problemas e na tomada de decisões. Alguns investigadores em IO também acompanham estes assuntos nos seus trabalhos e publicações.

As MS, pela sua própria génese, estão especialmente preparadas para agregarem outras competências e formas de pensar. Ao modelarem a subjetividade e evocarem a intuição poderão fortalecer os processos racionais de decisão. Acresce que, pelas suas próprias

“O FORTALECIMENTO DA IO PASSARÁ POR ABRAÇAR AMBOS OS PARADIGMAS, HARD E SOFT, PRIVILEGIAR UM CONFORME AS CIRCUNSTÂNCIAS, MAS SEM DIMITIR O OUTRO”

formas de atuação, acolherão facilmente reflexões éticas, também indispensáveis à conceção de modelos e à prática de consultoria.

De modo algum se poderão menosprezar os métodos e técnicas quantitativos, pois quando adequados serão preferíveis a outras alternativas. Mas se pouco ou nada adequados, então melhor será escapar às suas amarras e aceitar outro paradigma, *soft*, na tentativa de alcançar uma visão holística, encontrar modelos interpretativos para as situações complexas (*messes*) e evitar sobressimplificações. Finalmente, trata-se de ir além da eficiência e da eficácia para constatar a efetividade das “soluções” propostas.

O fortalecimento da IO passará por abraçar ambos os paradigmas, *hard* e *soft*, privilegiar um conforme as circunstâncias, mas sem demitir o outro.

REFERÊNCIAS

- [1] Ackermann, F. & Eden, C. (2010). *Strategic Options Development and Analysis*. In M. Reynolds and S. Holwell (Eds.), *Systems Approaches to Managing Change: A Practical Guide* (p. 135). Springer-Verlag London Limited.
- [2] Beer, S. (1989). *The Viable System Model*. Wiley, Chichester.
- [3] Checkland, P. & Scholes, J. (1999). *Soft Systems Methodology In Action*. JOHN WILEY AND SONS LTD.
- [4] Friend, J. K., John K., & Hickling, A. (2005). *Planning under pressure: the strategic choice approach*. Elsevier/Butterworth Heinemann.
- [5] Joldersma, C. & Roelofs, E. (2004). The impact of soft OR-methods on problem structuring. *European Journal of Operational Research*, 152(3), 696–708.
- [6] Keys, P. (2006). On becoming expert in the use of problem structuring methods. *Journal of the Operational Research Society*, 57(7), 822–829.
- [7] Lami, I. M. & Tavella, E. (2019). On the usefulness of soft OR models in decision making: A comparison of Problem Structuring Methods supported and self-organized workshops. *European Journal of Operational Research*, 275(3), 1020–1036.
- [8] MacKenzie, A., Pidd, M., Rooksby, J., Sommerville, I., Warren, I., & Westcombe, M. (2005). *Wisdom, decision support and paradigms of decision making*. *European Journal of Operational Research*, 170(1), 156–171.
- [9] Mingers, J. (2001). *Multimethodology - Mixing and matching Methods*. In J. Rosenhead & J. Mingers (Eds.), *Rational Analysis for a Problematic World Revisited* (pp. 289–309). John Wiley & Sons, Ltd.
- [10] Mingers, J. (2000). Variety is the spice of life: combining soft and hard OR/MS methods. *International Transactions in Operational Research*, 7, 673–691.
- [11] Mingers, J. & Rosenhead, J. (2004). Problem structuring methods in action. *European Journal of Operational Research*, 152(3), 530–554.
- [12] Munro, I. & Mingers, J. (2002). The use of multimethodology in practice—results of a survey of practitioners. *Journal of the Operational Research Society*, 53(4), 369–378.
- [13] Paucar-Caceres, A. (2010). Mapping the changes in management science: Are view of ‘soft’ OR/MS articles published in *Omega* (1973–2008). *Omega*, 38, 46–56.
- [14] Pidd, M. (2009). *Tools for thinking: modelling in management science*. Wiley.
- [15] Preece, G., Shaw, D., & Hayashi, H. (2015). Application of the Viable System Model to analyse communications structures: A case study of disaster response in Japan. *European Journal of Operational Research*, 243(1), 312–322.
- [16] Rosenhead, J. & Mingers, J. (2001). *Rational analysis for a problematic world revisited: problem structuring methods for complexity, uncertainty and conflict*. Wiley.
- [17] Small, A. & Wainwright, D. (2018). Privacy and security of electronic patient records – Tailoring multimethodology to explore the socio-political problems associated with Role Based Access Control systems. *European Journal of Operational Research*, 265(1), 344–360.
- [18] Smith, C. M. & Shaw, D. (2019). The characteristics of problem structuring methods: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 274(2), 403–416.
- [19] Vidal, R. V. V. (2006). *Operational research: a multidisciplinary field*. *Pesquisa Operacional*, 26(1), 69–90.

MINIMIZAÇÃO DO IMPACTO DE ATAQUES DE SEGURANÇA EM REDES DE TELECOMUNICAÇÕES

Atualmente, os serviços suportados pelas redes de telecomunicações assumem tanta importância como o abastecimento de água ou de eletricidade no normal funcionamento das sociedades, ditas Sociedades da Informação. Qualquer acontecimento que afete, por um tempo significativo, os serviços de telecomunicações a que estamos habituados tem um enorme impacto negativo quer na vida das pessoas quer na das empresas. Dado o número crescente de acontecimentos sobejamente conhecidos, resultantes de atividades maliciosas causadas pelo homem, tal como o terrorismo, a segurança das redes de telecomunicações e dos seus serviços tornaram-se um assunto de extrema importância tanto a nível de investigação como a nível do investimento que as empresas realizam.

A segurança numa rede de telecomunicações pode ser abordada segundo dois pontos de vista. O ponto de vista mais habitual é o do desenvolvimento de sistemas e/ou plataformas que permitam aumentar a segurança da rede tornando mais difícil a realização de ataques bem-sucedidos. O segundo ponto de vista, menos investigado, é o de assumir que não existem sistemas de segurança perfeitos e que, por isso, é sempre possível acontecer um ataque bem-sucedido. Este artigo centra-se nos ataques de segurança do tipo negação de serviço (*denial-of-service*) em que um número significativo de elementos de uma rede de telecomunicações é desativado e, consequentemente, interrompe de forma significativa os serviços suportados pela mesma. Neste caso, o desafio científico é o de como preparar as redes de telecomunicações para que o impacto de tais ataques nos seus serviços seja o menor possível.

Este é um dos desafios abordados na ação COST CA15127 RECODIS (*Resilient Communication Services Protecting End-user Applications from Disaster-based Failures*) que teve início em março de 2016 (<http://www.cost-recodis.eu>), terminará em fevereiro de 2020 e da qual sou delegado nacional. Esta ação está organizada em diferentes Grupos de Trabalho que abordam o impacto de diferentes tipos de

desastres de grande escala. Em particular, o Grupo de Trabalho 4 é dedicado ao impacto de desastres resultantes de atividades maliciosas causadas pelo homem, quer sejam ataques cibernéticos ou ataques à integridade física dos elementos de rede. Este artigo descreve alguns dos aspetos de IO dos problemas abordados no Grupo de Trabalho 4, do qual sou vice-líder desde dezembro de 2018.

A minimização do impacto dos ataques de segurança em redes de telecomunicações pressupõe dois aspetos. O primeiro aspeto é a adoção de métricas adequadas de avaliação do impacto dos ataques de segurança. O segundo aspeto é a conceção de métodos que permitam projetar, preparar ou atualizar as redes de telecomunicações de modo a otimizar as métricas previamente adotadas.

No primeiro aspeto, uma das métricas consideradas mais relevantes é o número de pares de nós de uma rede que deixa de ter conectividade entre si quando um ataque de segurança é bem-sucedido. Se estivermos interessados na avaliação do impacto de ataques simultâneos a múltiplos nós da rede, este problema é designado na literatura científica pelo problema da deteção de nós críticos (CND – *Critical Node Detection*).

Considere-se um grafo orientado $G=(N,A)$, em



AMARO DE SOUSA

Departamento de Eletrónica,
Telecomunicações e Informática,
Universidade de Aveiro
Instituto de Telecomunicações
Pólo de Aveiro
asou@ua.pt
asou@av.it.pt

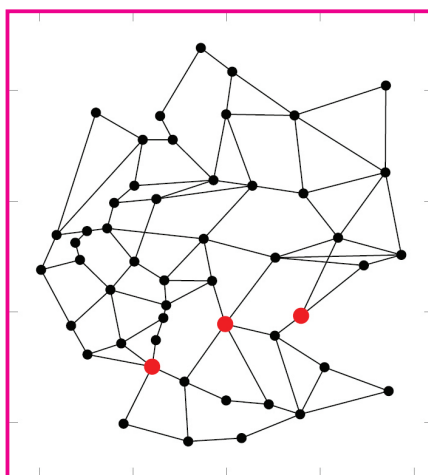


Fig. 1 – A rede Germany50 com os seus 3 nós críticos assinalados a vermelho.

“A SEGURANÇA NUMA REDE DE TELECOMUNICAÇÕES PODE SER ABORDADA SEGUNDO DOIS PONTOS DE VISTA. O PONTO DE VISTA MAIS HABITUAL É O DO DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS E/OU PLATAFORMAS QUE PERMITAM AUMENTAR A SEGURANÇA DA REDE (...). O SEGUNDO PONTO DE VISTA, MENOS INVESTIGADO, É O DE ASSUMIR QUE NÃO EXISTEM SISTEMAS DE SEGURANÇA PERFEITOS E QUE, POR ISSO, É SEMPRE POSSÍVEL ACONTECER UM ATAQUE BEM-SUCEDIDO”

que N é o conjunto dos seus nós e A é o conjunto dos seus arcos, e um inteiro positivo c menor que o número de nós do grafo. Uma das variantes clássicas do CND é definida como a seleção de um conjunto de c nós de N , designados por nós críticos, que minimiza o número de pares de nós conectados no grafo sobrevivente (i.e., o grafo que se obtém eliminando os nós críticos do grafo G). A Figura 1 apresenta a rede *Germany50* (disponível em <http://sndlib.zib.de>) com 50 nós e 88 ligações (176 arcos) e assinala o seu conjunto de $c = 3$ nós críticos. Se estes nós forem eliminados, a rede sobrevivente tem duas componentes, uma de 37 nós e outra de 10 nós, e o número resultante de pares de nós com conectividade entre si é 711. De notar que este valor é o número mínimo de pares de nós que tem conectividade entre si em qualquer ataque bem-sucedido a 3 nós simultâneos da rede.

O primeiro modelo ILP (*Integer Linear Programming*) que descreve esta variante do CND foi

proposto em [1]. Este modelo inclui um conjunto de restrições, designadas por restrições de conectividade triangular, que garante que para cada triplete de nós da rede (i,j,k) , se o nó i tem conectividade com o nó j e o nó j tem conectividade com o nó k , então o nó i também tem conectividade com o nó k . O número destas restrições é da ordem $\Theta(n^3)$ em que n é o número de nós da rede. Em [1], é também mostrado que o CND é *NP-hard* e proposta uma heurística para a sua resolução. Um modelo ILP alternativo é proposto em [2] em que as restrições de conectividade triangular são redefinidas. O número destas restrições é da ordem $\Theta(n^2)$ permitindo resolver o CND para redes cuja dimensão (em número de nós e de arcos) não permite serem resolvidas com o modelo anterior.

Recentemente, dois novos modelos ILP propostos em [3] consideram uma redefinição diferente das restrições de conectividade triangular. Neste caso, o número destas restrições é da ordem $\Theta(p \times n^2)$ em que p é o grau médio de G (i.e., a média dos graus dos nós da rede). Apesar destes modelos serem menos compactos do que o modelo em [2], mostra-se em [3] que o valor da sua relaxação linear é muito mais próximo do valor da solução ótima e, consequentemente, estes modelos permitem resolver o CND para redes de muito maior dimensão.

O CND pode também ser resolvido através de modelos ILP não-compactos, baseados em formulações de percursos, tal como proposto em [4]. Estes modelos têm um número exponencial de restrições, uma por cada percurso em G entre cada par de nós de rede. No entanto, nem todas as restrições precisam de ser incluídas no modelo para que a solução ótima seja válida. Assim, usando técnicas de geração de linhas (*row generation techniques*), este problema é resolvido usando um algoritmo de determinação de percursos de custo mínimo na identificação das restrições que são necessárias incluir no modelo.

De notar que o CND tem aplicações práticas não só em redes de telecomunicações, mas também noutros contextos, tais como: a identificação de pessoas influentes em redes sociais, a identificação de nós importantes em redes biológicas ou a imunização de populações no domínio da epidemiologia. Pela sua impor-

tância, existem muitos trabalhos científicos publicados na última década e dedicados a diferentes variantes do CND, como facilmente se verifica pela revisão recente destes trabalhos apresentada em [5].

Dependendo do contexto das redes de telecomunicações em estudo, outras variantes do CND podem ter de ser consideradas. No caso das redes de telecomunicações baseadas em redes óticas transparentes, existe um comprimento máximo no percurso usado em G para dar conectividade entre cada par de nós. Este comprimento máximo é designado por alcance ótico transparente (*optical transparent reach*) e depende não só do comprimento das ligações contidas no percurso, mas também do número de nós intermédios. Neste caso, dois nós só têm conectividade entre si na rede sobrevivente (resultante da eliminação dos seus nós críticos) se existir pelo menos um percurso entre os dois nós com comprimento não superior ao alcance ótico transparente. Em [7], esta variante do CND é resolvida através de um modelo ILP não-compacto adaptado dos modelos propostos em [4]. Neste caso, o algoritmo de determinação de percursos de custo mínimo é adaptado para considerar os percursos de comprimento mínimo contabilizando os nós intermédios, e as restrições só são incluídas se o comprimento mínimo for menor que o alcance ótico transparente.

Sendo possível determinar os nós críticos de uma rede de telecomunicações, o segundo aspeto relevante (já anteriormente referido) é o de como usar esta informação de modo a projetar, preparar ou atualizar as redes de telecomunicações para que a conectividade mínima imposta pelos nós críticos seja melhorada. Pela sua natureza, este aspeto impõe sempre um desafio de IO complexo porque o problema de otimização em questão é um problema de dois níveis do tipo max-min: no nível inferior, os nós críticos minimizam a conectividade da rede sobrevivente e no nível superior, o objetivo é maximizar a conectividade mínima imposta pelos nós críticos. De seguida são descritos dois métodos definidos para contextos diferentes.

Em [6], é explorada a ideia de que os nós da rede podem ser tornados robustos quer por meio de sistemas de segurança informática (que previnam ataques cibernéticos) ou segurança de instalações (que previnam ataques

“A MINIMIZAÇÃO DO IMPACTO DOS ATAQUES DE SEGURANÇA EM REDES DE TELECOMUNICAÇÕES PRESSUPÕE (...) A ADOÇÃO DE MÉTRICAS ADEQUADAS DE AVALIAÇÃO DO IMPACTO DOS ATAQUES DE SEGURANÇA, (...) E A CONCEÇÃO DE MÉTODOS QUE PERMITAM PROJETAR, PREPARAR OU ATUALIZAR AS REDES DE TELECOMUNICAÇÕES DE MODO A OTIMIZAR AS MÉTRICAS PREVIAMENTE ADOTADAS”

bombistas ou de corte de energia), quer pela existência no local de equipamentos de reserva que possam rapidamente substituir equipamentos desativados por um ataque bem-sucedido. Considerando o grafo G que representa a topologia da rede de telecomunicações, um inteiro positivo c que define o número de nós críticos de interesse, e um inteiro positivo r que define o número de nós robustos a selecionar, o problema de otimização consiste em selecionar um conjunto de r nós do grafo G (para serem tornados robustos) que maximiza a conectividade mínima imposta pelo conjunto dos c nós críticos. Em [6], são propostos dois métodos de resolução: um método exato, baseado num algoritmo recursivo que usa uma estra-

tégia *depth-first*, e um método heurístico que apresenta bons resultados para os casos em que o método exato não consegue resolver. Os resultados mostram que em muitos casos, um conjunto pequeno de nós robustos consegue melhorar significativamente a conectividade mínima da rede. Estas soluções representam para o operador uma boa relação custo-benefício em que o custo está associado aos recursos necessários para tornar os nós robustos e o benefício está associado à redução do impacto de ataques bem-sucedidos a múltiplos nós da rede.

O problema do desenho da topologia de uma rede ótica transparente é abordado em [7]. Um dos objetivos é determinar a qualidade das redes atuais em termos de vulnerabilidade a ataques a múltiplos nós da rede. Assim, dada uma rede existente com um comprimento total de fibra B , é proposta uma heurística para determinar uma nova topologia com um comprimento total de fibra menor ou igual a B que maximize a conectividade mínima dos seus nós críticos. Considerando a rede *Germany50* (Figura 1), a Figura 2 apresenta a melhor solução encontrada em que as ligações assinaladas a tracejado azul não pertencem à rede original. Nesta topologia, os 3 nós críticos (assinalados a vermelho) separam a rede em duas componentes, uma de 45 nós e outra de 2 nós. Consequentemente, o número de pares de nós com conectividade entre si é 991, uma melhoria de 39.4% relativamente ao valor de 711 da topologia original. De notar que nesta solução, apenas 43.6% do comprimento de fibra das ligações originais se mantem nesta topologia, ilustrando uma das principais conclusões em [7] de que as topologias atuais são vulneráveis a ataques a múltiplos nós da rede. Em [7], o método heurístico proposto é também adaptado para o caso em que se pretende atualizar uma rede existente com novas ligações minimizando o impacto de ataques a

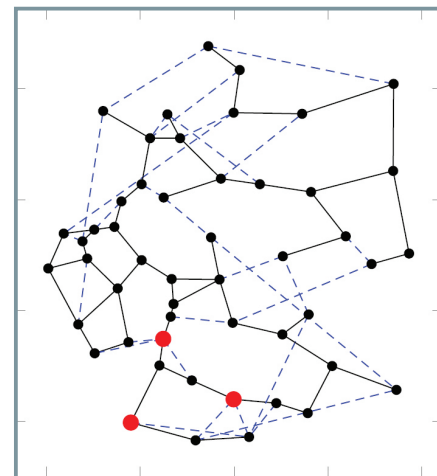


Fig. 2 – Uma rede desenhada com o mesmo comprimento total de fibra da *Germany50* com os seus 3 nós críticos assinalados a vermelho e as ligações que não pertencem à topologia original assinaladas a tracejado azul.

múltiplos nós da rede. O objetivo é determinar o quão se pode aproximar a vulnerabilidade da rede atualizada à vulnerabilidade de uma topologia desenhada de raiz com o mesmo comprimento de fibra da rede atualizada. Os resultados mostram que na maior parte dos casos, é possível reduzir significativamente a diferença das duas soluções com apenas 10% mais fibra de novas ligações.

Como nota final, refira-se que os dois desafios de IO aqui descritos (a seleção dos nós robustos e o desenho topológico de redes óticas transparentes) são ainda problemas em aberto. No primeiro caso, o método exato proposto em [6] não consegue endereçar as instâncias maiores de interesse prático. No segundo caso, o método proposto em [7] é heurístico e ainda não existe nenhuma proposta que permita determinar as soluções ótimas para instâncias de dimensão realista.

REFERÊNCIAS

- [1] Arulselvan, A., Commander, C.W., Eleftheriadou, L., & Pardalos, P.M. (2009). Detecting Critical Nodes in Sparse Graphs. *Computers & Operations Research*, 36(7), 2193-2200.
- [2] Veremyev, A., Boginski, V., & Pasiliao, E. (2014). Exact Identification of Critical Nodes in Sparse Networks via New Compact Formulations. *Optimization Letters*, 8(4), 1245-1259.
- [3] Santos, D., de Sousa, A., & Monteiro, P. (2018). Compact Models for Critical Node Detection in Telecommunication Networks. *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, 64, 325-334.
- [4] Di Summa, M., Grosso, A., & Locatelli, M. (2012). Branch and cut algorithms for detecting critical nodes in undirected graphs. *Computational Optimization and Applications*, 53(3), 649-680.
- [5] Lalou, M., Tahraoui, M.A., & Kheddouci, H. (2018). The Critical Node Detection Problem in networks: A survey. *Computer Science Review*, 28, 92-117.
- [6] de Sousa, A., Mehta, D., & Santos, D. (2017). The Robust Node Selection Problem aiming to Minimize the Connectivity Impact of any Set of p Node Failures. *13th Int. Conf. on Design of Reliable Communication Networks (DRCN)*, Munich, Germany, March 8-12, 138-145.
- [7] Barbosa, F., de Sousa, A., & Agra, A. (2018). Topology Design of Transparent Optical Networks Resilient to Multiple Node Failures. *10th Int. Workshop on Resilient Networks Design and Modeling (RNDM)*, Longyearbyen, Norway, August 27-29, 1-8.

SECUREPORT: UM SISTEMA DE APOIO À DECISÃO PARA SEGURANÇA PORTUÁRIA



JOÃO JOSÉ MAIA MARTINS

CINAV
maia.martins@marinha.pt



ANTÓNIO J.L. RODRIGUES

CMAFcIO e DEIO-FCUL
ajrodrigues@fc.ul.pt

DESCRIÇÃO GERAL E ENQUADRAMENTO

SecurePort, apresentado em [1], é um sistema desenvolvido para prestar apoio à decisão militar de níveis estratégico, operacional e tático no planeamento de missões de proteção portuária contra possíveis ameaças terroristas originadas no espelho de água.

Nomeadamente, procura-se prevenir e evitar possíveis ataques terroristas realizados à superfície (embarcações) ou subsuperfície (mergulhadores) sem impedir que se realizem as atividades habituais numa zona portuária — transporte, lazer, etc..

Este sistema de apoio à decisão (SAD) possibilita que o nível político conheça o balanço entre despesa e risco de segurança assumido; o comando operacional conheça as necessidades otimizadas de recursos de vigilância e patrulhamento para um dado grau de risco assumido; e o comando tático conheça o melhor uso a dar aos recursos (humanos e materiais) que entretanto sejam atribuídos.

Entre os principais recursos considerados estão sensores de diferentes tipos e capacidades — em especial radares e sonares, fixos ou móveis — e as unidades de patrulha e classificação de contactos — nomeadamente botes tripulados ou veículos aéreos não tripulados (UAV).

O sistema, desenvolvido em MATLAB, acompanhou e serviu de protótipo para o projeto SafePort, que foi patrocinado pela NATO no âmbito de um Programa (PoW) relativo à Defesa Contra o Terrorismo (DAT) em zonas portuárias. Esse projeto foi desenvolvido em articulação com a Marinha Portuguesa por um consórcio liderado pela EDISOFT e incluindo 4 centros de investigação nacionais (CIO-FCUL, LOLS-FCUL, LSTS-FEUP, CGE-U.Évora).

Algumas decisões conceptuais e informações operacionais resultaram de diversos estudos realizados pelo grupo de trabalho da Marinha no âmbito do referido DAT-PoW.

O SecurePort incorpora ainda resultados do grupo de trabalho (RTG) NATO SCI-280 'System-of-systems approach to task driven sensor resource management for maritime situational awareness'.

COMPLEXIDADE DO PROBLEMA

Para a estruturação de problemas de segurança portuária, o sistema incorpora uma ferramenta para aplicação da metodologia *General*

Morphological Analysis [2], também com o objetivo de controlar e reduzir, até certo ponto, a enorme complexidade potencial desses problemas. Em particular, a metodologia permite a identificação das variáveis mais relevantes para a elaboração de cenários operacionais.

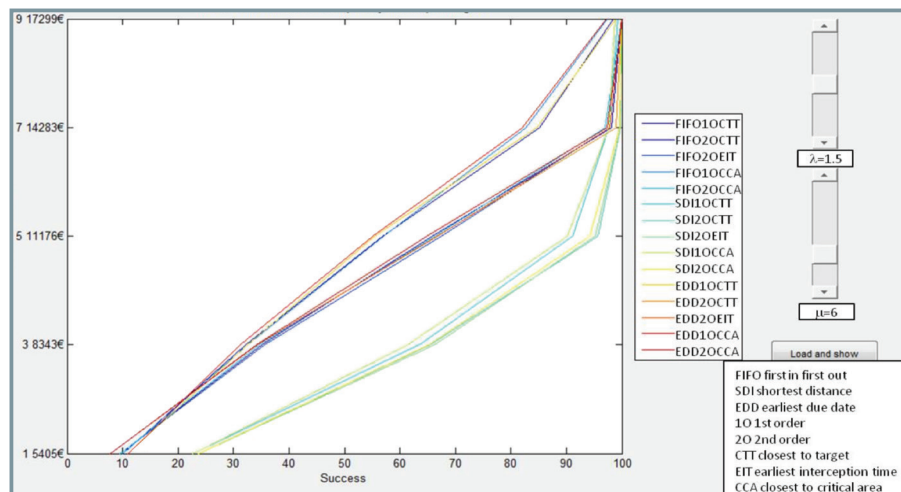
Mesmo considerando modelos bastante simplificados, encontram-se presentes, simultaneamente:

- variáveis de decisão de tipos bastante diversos (p.ex., dimensionamento de recursos, ou regras de atuação dos recursos móveis);
- variáveis aleatórias (p.ex., condições ambientais, tráfego marítimo em geral); e,
- variáveis exógenas adversárias (natureza e comportamento das ameaças); neste caso, não se tenta estimar o que é mais ou menos provável que suceda, mas sim analisar possibilidades que sejam preocupantes e suficientemente plausíveis.

O SAD aplica heurísticas de otimização na abordagem de alguns aspetos do problema, em especial nas decisões de dimensionamento e localização de sensores fixos, ou na definição de subáreas destinadas a ações de patrulha ou de classificação de contactos.

Contudo, face à referida complexidade do problema, e sobretudo face à natureza dinâmica dos cenários, é incontornável a utilização da simulação em computador para avaliação comparativa de diferentes decisões alternativas.

“FACE À COMPLEXIDADE DO PROBLEMA, E SOBRETUDO FACE À NATUREZA DINÂMICA DOS CENÁRIOS, É INCONTORNÁVEL A UTILIZAÇÃO DA SIMULAÇÃO EM COMPUTADOR PARA AVALIAÇÃO COMPARATIVA DE DIFERENTES DECISÕES ALTERNATIVAS”



“EM CADA EXPERIÊNCIA SÃO TAMBÉM OBTIDAS ESTIMATIVAS PROVISÓRIAS DOS CUSTOS OPERACIONAIS, QUE POSSIBILITAM UMA ANÁLISE DA POTENCIAL EFICÁCIA DO DISPOSITIVO DE SEGURANÇA FACE A DIFERENTES ORÇAMENTOS”

Fig. 2 – Visualização de resultados, em termos de custo versus eficácia, da experimentação com diferentes regras táticas, consoante diferentes condições de 'oferta' e de 'procura' do 'serviço' de interceção e inspeção, para uma determinada geometria simplificada da área de patrulha.

EXPERIMENTAÇÃO

A eficácia do dispositivo de segurança e os custos operacionais dependem bastante do número de unidades móveis utilizadas, sobretudo se forem unidades tripuladas. É, em geral, possível reduzir custos e/ou aumentar a eficácia tirando um melhor partido desses recursos através de regras procedimentais dinâmicas e necessariamente heurísticas que permitam uma reavaliação contínua e eficiente dos planos de ação em curso [6]:

- priorização: quais das tarefas pendentes são (em cada momento) mais prioritárias?
- *dispatching*: que recurso afetar a qual tarefa?
- plano de interceção: que rota e a que velocidade?
- quando não há tarefas pendentes, o que

convém fazer: reposicionamento, inação (*loitering*) ou patrulhamento?

Tal como foi atrás referido, por razões de eficiência computacional é conveniente realizar experiências sistematizadas mais extensivas para avaliação comparativa de diferentes regras de atuação dos recursos móveis através de um simulador mais simples.

A geometria do espaço sob estudo é bastante simplificada, sendo mais relevante distinguir apenas em função da sua maior ou menor área e da tipologia do porto em questão — por exemplo, se está numa costa marítima ou na margem de um rio. Além disso, podem ser ignoradas muitas variáveis ambientais e simplificada a caracterização do tráfego marítimo.

Assim, consideramos experiências envolvendo apenas algumas das variáveis mais relevantes para o cenário em estudo. As regras de atuação que aparentem dar melhor resultado podem e devem depois ser testadas, de forma mais realista, no simulador principal.

Os resultados de uma experiência podem, por exemplo, dar indicações sobre qual o número de unidades móveis e qual o seu modo de atuação em cada hora do dia, em função da densidade de tráfego, da visibilidade ou de outros fatores.

Entretanto, em cada experiência são também obtidas estimativas provisórias dos custos operacionais, que possibilitam uma análise da potencial eficácia do dispositivo de segurança, face a diferentes orçamentos (Fig. 2).

REFERÊNCIAS

- [1] Martins, J.J.M. (2017). *Métodos Eficientes de Simulação e Otimização em Problemas de Segurança Portuária*. Tese de doutoramento, FCUL.
- [2] Ritchey, T. (2006). Problem structuring using computer-aided morphological analysis, *Journal of the Operational Research Society*, 57(7), 792-801.
- [3] Taylor, S.J.E. (Ed.) (2014). *Agent-based Modeling and Simulation*, OR Essentials series, Palgrave Macmillan.
- [4] Ghiani, G., Guerriero, F., Laporte, G., & Musmanno, R. (2003). Real-time vehicle routing: Solution concepts, algorithms and parallel computing strategies. *European Journal of Operational Research*, 151(1), 1-11.
- [5] Bednowitz, N., Batta, R., & Nagi, R. (2014). Dispatching and loitering policies for unmanned aerial vehicles under dynamically arriving multiple priority targets. *Journal of Simulation*, 8(1), 9-24.
- [6] Martins J. & Rodrigues A. (2016). Comparing dispatching heuristics in harbour protection problems using an agent-based simulator. NATO STO-MP-SAS-OCS-ORA-2015.

O SÓCIO N.º ... 1172

O caminho percorrido para chegar à Investigação Operacional não foi o mais óbvio. De facto, no final do 9º ano de escolaridade tive alguma dificuldade em escolher a área que queria seguir no Ensino Secundário, pois gostava de todas as áreas. No entanto, a informática estava a surgir como área nova e de futuro, o que me aliciou a seguir a via, na altura designada por científico-natural, entrando na primeira opção escolhida para o Ensino Superior, a Licenciatura em Matemática Aplicada – Ramo de Ciência de Computadores. Durante o curso confirma-se a minha paixão pela informática, sendo perfeitamente claro que quando diplomada, o objetivo seria, indiscutivelmente, ingressar numa empresa como programadora. Quis o destino que ainda antes de terminar o curso, surgisse a oportunidade de dar aulas no Ensino Secundário. Decidi experimentar, e uma nova paixão se revela, ser Professora. Foram 9 anos no Colégio de Gaia, dos quais guardo memórias muito caras para mim, dos Estudantes, dos Colegas e da Instituição. Mas, a inquietação de procurarmos permanentemente crescer em conhecimento, levou-me a ingressar no Mestrado em Informática onde encontrei um Professor, César Rego, que me apresentou à Investigação Operacional, e a minha vida mudou para sempre. Esta derradeira paixão, definiu um novo rumo, designadamente procurar uma carreira no Ensino Superior, onde poderia conciliar todas as minhas paixões (Ensinar e Investigar nos domínios da Informática e da Investigação Operacional). Assim, vim rapidamente parar à Escola Superior de Tecnologia e Gestão (ESTG) do Politécnico do Porto, onde já trabalho há 18 anos, e onde vim encontrar uma nova família. Ao longo deste período, tirei o meu Doutoramento em Engenharia de Sistemas no Instituto Superior Técnico, ao qual se seguiram vários projetos de I&D financiados como investigadora responsável, assim como, orientações de mestrado e doutoramento, publicações importantes e participações em conferências de renome na área da IO. Costumo definir como objetivo principal da minha investigação: a conceção, implementação e validação, de algoritmos de otimização para a solução de problemas complexos e com aplicações no mundo real. Apesar dos avanços na resolução de problemas, continua a verificar-se que muitos problemas difíceis de otimização combinatória, em particular os pro-

blemas de grande dimensão encontrados em aplicações práticas, não podem ser tratados com o grau apropriado de eficácia, e um número significativo destes problemas nem sequer conseguem ser abordados. Aumentar o nível de eficácia no tratamento destes problemas pode ditar a diferença entre o sucesso ou o fracasso de um negócio, devido à influência das soluções resultantes em factores críticos, tais como, eficácia nos custos, confiança nos componentes, viabilidade logística, segurança táctica e qualidade global da tomada de decisão. Metodologias emergentes têm provado ser eficazes, especialmente as que exploram a conceção de algoritmos cooperativos que combinam técnicas meta-heurísticas com técnicas de programação matemática com o objectivo de explorar a relação primal-dual dos problemas de otimização. Assim, a minha investigação tem-se focado nestas metodologias, tendo obtido excelentes resultados, especialmente, com a *framework* RAMP (*Relaxation Adaptive Memory Programming*), que foi a base para vários projetos FCT.

Mas, a descoberta de novas paixões ainda não tinha terminado. Desde cedo, fui-me envolvendo em atividades de gestão, incluindo no Colégio de Gaia, acabando por ir assumindo praticamente todos os cargos e órgãos de gestão na ESTG. Destaco alguns desses cargos pela realização e aprendizagem que me trouxeram, designadamente, Coordenadora da Área Científica de Informática, Coordenadora do Mestrado em Engenharia Informática, Presidente do Conselho Pedagógico e Presidente do Conselho Técnico-Científico. Dou especial relevância, pela responsabilidade e impacto na estratégia da ESTG, aos cargos de Diretora do nosso CIICESI (Centro de Inovação e Investigação em Ciências Empresariais e Sistemas de Informação) e de Presidente da ESTG (após ter sido Vice-Presidente durante 4 anos). Neste momento cumpro o segundo mandato de 4 anos como Presidente da ESTG, que terminará a 14 de julho de 2022. Tem sido um caminho desafiante, com bastantes obstáculos, mas também com imensas oportunidades, que acrescentam valor ao meu conhecimento e percurso profissional, principalmente à minha formação como pessoa. Continuarei sempre de mente aberta à descoberta de novas paixões...



DORABELA GAMBOA

Escola Superior de Tecnologia e Gestão
Politécnico do Porto
dgamboa@estg.ipp.pt

EVENTOS REALIZADOS

Prémio Augusto Queirós Novais



Entrega do prémio Augusto Queirós Novais a Pedro M. Castro (à esq.) e a Miguel Vieira (à dir.).

O prémio atribuído pela APDIO destinado a galardoar os melhores artigos publicados na área de Process Systems Engineering, foi atribuído ex-aequo a dois trabalhos: "Optimal Scheduling of Multiproduct Pipelines in Networks with Reversible Flow" de Pedro M. Castro e "Production and maintenance planning optimisation in biopharmaceutical processes under performance decay using a continuous-time formulation: a multi-objective approach" de Miguel Vieira, Tânia Pinto-Varela e Ana P. Barbosa-Póvoa. O prémio foi atribuído no decorrer do XIX Congresso da APDIO 2018, que se realizou nos dias 5-7 de setembro na Universidade de Aveiro.

Nota dos editores: Esta notícia visa corrigir a notícia do Boletim nº 59, que por lapso não mencionava um dos premiados. Os editores pedem desculpas por este lapso.

Projetos Aprovados



WSMARTROUTE

Título: Waste Collection based on a Real Time Route Planning System
Entidade financiadora: MIT Portugal/FCT
Investigadora principal: Tânia Rodrigues Pereira Ramos (CEG-IST/IST-UL)

Teses de Doutoramento

Autora: Parisa Sadeghi
Título: Balancing and Sequencing Mixed-Model Assembly Systems in the Footwear Industry
Instituição: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
Doutoramento em Engenharia e Gestão Industrial
Data de conclusão: fevereiro de 2019
Orientador: José Soeiro Ferreira

Autor: Carlos José Lúcio Martins
Título: Redesign of a Sustainable Food Bank Supply Chain
Instituição: Instituto Superior de Economia e Gestão, Universidade de Lisboa
Doutoramento em Matemática Aplicada à Economia e à Gestão
Data de conclusão: março de 2019
Orientadora: Margarida Vaz Pato

Eventos a realizar

IFORS 2020

21 a 26 de junho de 2020
Coex, Seoul, Coreia
Mais informações em <http://www.ifors2020.kr/>

Optimization 2020

27 a 29 de julho de 2020
Universidade de Aveiro
Mais informações em <http://optimization2020.web.ua.pt/>



SPE 2019

6 a 9 de novembro de 2019
Amarante
Mais informações em <https://spe2019.estg.ipp.pt/>
Com uma sessão temática APDIO-SPE



Associação Portuguesa de Investigação Operacional
Departamento de Engenharia e Gestão
Instituto Superior Técnico
Av. Rovisco Pais, 1
1049-001 Lisboa, Portugal
apdio@civil.ist.utl.pt



<http://apdio.pt/home>
<https://www.facebook.com/APDIO.PT/>
<https://www.linkedin.com/groups/2871069/>



BOLETIM APDIO

Equipa Editorial
Eliana Costa e Silva
eos@estg.ipp.pt
Rui Borges Lopes
rui.borges@ua.pt

Design
Inês Assis
inesassis.design@gmail.com
Impressão
Gráfica Pacense, Lda.
Tiragem 325 exemplares